

ایجاد اهداف کاذب در سامانه‌های تصویربرداری راداری SAR

نرجس سادات واعظ^۱، مجتبی بهزاد فلاح پور^{۲*}، حمید دهقانی^۳

۱- کارشناس ارشد پدافند غیرعامل، ۲ و ۳- دکتری دانشگاه صنعتی مالکاشتر

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶)

چکیده

سامانه تصویربرداری راداری به عنوان مکملی برای سنجنده‌های سنجش از دور غیرفعال مطرح است. در این فناوری، میدان پراکندگی از هدف، مشخصه هدف را تعیین می‌کند. مشخصه هدف در تصاویر راداری سبب آشکارسازی هدف توسط این سامانه می‌گردد. روش‌های مختلفی برای فریب در مقاصد پدافند غیرعامل استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها، اهداف کاذب، جایگزین هدف اصلی‌اند. در این صورت جایگزینی اهداف بزرگ مشکل و ناممکن می‌شود. در این مقاله با محاسبه میدان‌های پراکندگی اهداف، ضمن بررسی پارامترهای مؤثر، روشی برای جایگزینی اهداف کاذب با پاسخ مشابه اهداف اصلی ارائه می‌شود. این روش سهولت در اجرای هدف کاذب به عنوان فریب را دربردارد. با توجه نتایج بدست آمده در این مقاله، الگوی رفتاری هدف در تصویر، حاصل از شکل هدف در جهت و موقعیت مراکز پراکندگی است. پارامتر جنس تاثیر اندکی بر الگوی هدف دارد و بیشترین تاثیر این پارامتر بر دامنه بازگشتی است. پارامترهای دیگر مستقل‌اند و برای همه اهداف ثابت است. در نتیجه ساخت مراکز پراکنده کننده هدف با شکل خود هدف و کاشت آنها بر روی زمین به عنوان فریب در سامانه راداری قابل استفاده است. شبیه سازی میدان‌های پراکندگی هدف در نرم افزار CST با استفاده از مدل CAD انجام می‌شود و تشکیل تصویر هدف از داده‌های پراکندگی در نرم افزار MATLAB صورت می‌گیرد.

کلید واژه‌ها: هدف کاذب، اهداف گسترده، رادار تصویربرداری، پدافند غیرعامل

The Study of False Target Creation in Synthetic Aperture Radars

N. S. Vaez, M. Behzad Fallahpour*, H. Dehghani

Malek Ashtar University of Technology

(Received: 27/03/2021; Accepted: 28/09/2021)

Abstract





Radar imaging systems are a complement to passive remote sensing. In this technology, target's characteristics are determined by the target's scattering field. The target's characteristics in radar images cause the detection of the target. Different methods are used for deception in passive defense. One of these methods replaces the main target by a false one. The weakness of this approach is that the replacement of distributed targets is very difficult and, in some cases, almost impossible. In this paper, while studying the effective parameters, a method is proposed to replace the false targets by calculating the scattering fields. This model gives the response close to the main target. The proposed method facilitates the implementation of the false target as deception. According to the results obtained in this paper, behavioral patterns of the targets in the image are derived from the shape of the target in the direction and location of the scattering centers. The material of the target has a small effect on the target's pattern and the greatest effect on the magnitude of scattering fields. Other parameters are independent and fixed for all targets. So, creating the scatterer centers of the target with its own shape and planting them on the ground can be used to deceive the radar system. The simulation of the target's scattering fields is performed using CAD model in CST software and image formation of the target's scattering data is performed in MATLAB software.

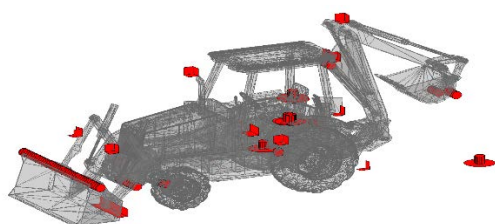
Keywords: False Target, Distributed Target, Imaging Radar, Passive Defense.

۱- مقدمه

با توجه به محدودیت‌های عنوان‌شده، در این مقاله تلاش می‌شود تا برای بازسازی هدف از شکل هندسی خود هدف استفاده شود. بدین صورت که در ابتدا تعداد نقاط پراکندگی هدف از جهت‌های مختلف استخراج می‌شود. سپس متناسب با این نقاط، مراکز پراکندگی در داخل شکل هدف تعیین می‌گردد و در انتها با ساخت ماکت‌های مشابه (از نظر شکل، جنس و ابعاد) با این مراکز و کاشت آنها بر روی زمین، هدف کاذب ایجاد می‌شود. البته قابل ذکر است که ابعاد ماکت‌ها در اختیار کاربر بوده و می‌تواند کوچکتر نیز انتخاب شود زیرا ابعاد بزرگ‌تر ماکت تنها شدت بازگشتی را افزایش می‌دهد.

جدول ۱. شکل‌های هندسی انتخاب‌شده در مقاله [۱۰]

شکل متعارف	نماد
کلاه ^۶	
سه پهلوئی ^۷	
دو پهلوئی ^۸	
استوانه	



شکل ۱. بازسازی هدف با استفاده از شکل‌های متعارف [۱۰]

در این راستا در این مقاله مطالب زیر ارائه گردیده است. در بخش دوم مقدمات و روش انجام کار ارائه شده است. در بخش سوم چگونگی مدل‌سازی هدف کاذب در این مقاله توضیح داده شده است. در بخش چهارم شبیه‌سازی هدف کاذب و بررسی پارامترهای مؤثر صورت گرفته و در نهایت نتیجه‌گیری در بخش پنجم ارائه خواهد شد.

۲- ابزار مورد استفاده در این مقاله برای ایجاد اهداف کاذب

سامانه‌های تصویربرداری با تکنولوژی برتر نسبت به سامانه‌های قدیمی رادار، نقش مهمی در کاربردهای نظامی و مشاهدات زمینی دارند. رادارهای SAR یکی از مهمترین سیستم‌های تصویربرداری محسوب می‌شوند که با حرکت در جهت سمت و نمونه‌برداری در جهت برد فضای ماتریسی دو بعدی

میدان پراکندگی از هدف، پاسخ هدف در برابر میدان ارسالی از رادار است که ویژگی‌های هدف را به‌دنبال دارد. این میدان بازگشتی، در تصاویر راداری از صحنه هدف ثبت می‌شود و با پردازش این تصاویر و با توجه به مشخصه هدف، هدف آشکارسازی می‌شود [۱ و ۲]. اهداف کاذب پاسخی مشابه هدف واقعی دارند و موجب فریب سامانه‌های راداری می‌شوند [۳]. برای ایجاد یک هدف کاذب همه پارامترهای مؤثر باید در نظر گرفته شوند. پارامترهای مختلف درون سیستمی و برون سیستمی زیادی بر تصاویر راداری اثر می‌گذارند. بررسی پارامترهای هدف با در نظر گرفتن وابستگی این پارامترها به دیگر پارامترهای مؤثر انجام پذیر است. پارامتر شکل، جهت گیری، ابعاد و جنس هدف در کنار مشخصات رادار و فرکانس قرارداد [۴-۶].

از آنجایی که در رادارهای تک پایه^۱، اهداف هموار با سطح مایل، بازتابی به سمت رادار ندارند لذا می‌توان نتیجه گرفت که پاسخ قسمت‌های خاصی از اهداف فقط در تصاویر راداری وجود دارد [۷]. با در نظر گرفتن این قسمت‌ها و بررسی حذف قسمت‌هایی از هدف که بازتابی به رادار ندارند می‌توان هدف را بازسازی کرد. همچنین می‌توان از آن به عنوان اهداف کاذب فیزیکی جایگزین اهداف گسترده استفاده کرد. به همین منظور از مدل نقطه‌ای^۲ استفاده می‌شود. مدل نقطه‌ای، مراکز پراکندگی^۳ را نشان می‌دهند این نقاط بیشترین بازتاب‌ها، از هدف به سمت رادار هستند [۸]. در اهداف گسترده^۴ مراکز پراکنده کننده تصویر هدف را می‌سازند. مراکز پراکنده کننده مانند صفحه روبروی رادار، رفلکتور، کره، گوشه‌ها، سطوح ناهموار و ... می‌باشند. که پاسخ دقیق تری نسبت به مدل نقطه‌ای در بردارند.

تاکنون کارهای خوبی در زمینه استخراج مدل نقطه‌ای و همچنین بازسازی اهداف گسترده با استفاده از مدل نقطه‌ای انجام شده است. به‌عنوان مثال نحوه استخراج مدل نقطه‌ای از اهداف گسترده با استفاده از تصویر راداری SAR^۵ بیان شده است [۹]. همچنین نحوه جایگزینی اهداف گسترده با استفاده از چند شکل هندسی متعارف و محدود بیان شده است [۱۰ و ۱۱]. این اشکال هندسی در جدول (۱) نشان داده شده‌اند. همچنین نحوه بازسازی هدف با شکل‌های متعارف در شکل (۱) نشان داده شده است. بازسازی هدف با شکل‌های هندسی، نیازمند کتابخانه‌ای از اهداف است، هر قدر تعداد عضوهای کتابخانه بیشتر باشد شباهت هدف بازسازی شده به هدف واقعی بیشتر می‌شود. بنابراین محدودیت تعداد شکل‌های هندسی، تصور هدف را مشکل می‌سازد. انتخاب شکل‌های متعارف نیز میزانی از خطا بسته به شکل انتخابی وارد الگوریتم می‌کند.

¹ Monostatic

² Pointing Model

³ Scattering Points

⁴ Distributed Targets

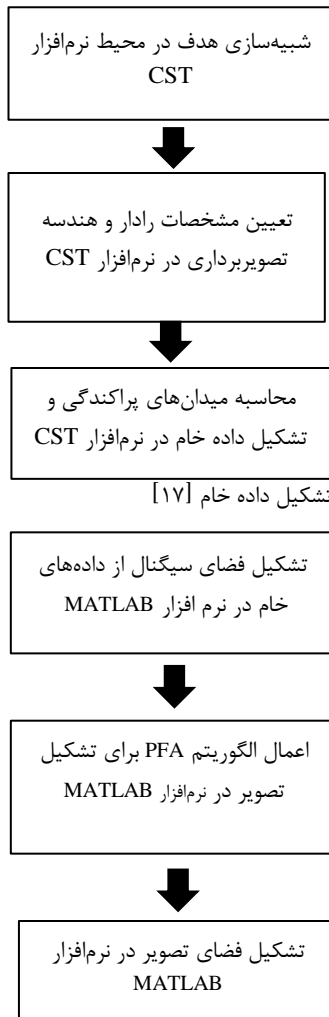
⁵ Synthetic Aperture Radar (SAR)

⁶ Top-hat

⁷ Trihedral

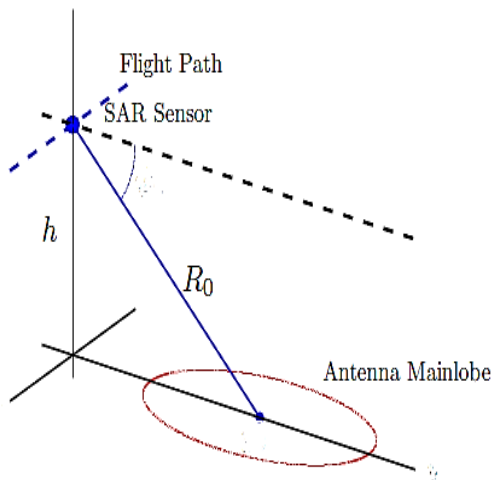
⁸ Dihedral

هستند. ویژگی‌های مؤثر هدف، شامل شکل هدف، ابعاد هدف، جهت‌گیری هدف و جنس هدف می‌باشند. پراکندگی‌های مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. در ادامه برای ارائه هدف کاذب این ویژگی‌ها در نظر گرفته می‌شود. برای بررسی این پارامترها در مرحله اول شکل هدف، ابعاد و جهت‌گیری محاسبه شده و اثر جنس به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲. مراحل تشکیل داده خام [۱۷]

شکل ۳. مراحل تشکیل فضای تصویری [۱۷]



شکل ۴. ساختار هندسی در رادار تک پایه تصویربرداری [۱۸]

تشکیل می‌دهند [۱] و [۱۲]. از آنجایی که این فضای ماتریسی اطلاعات قابل درک برای کاربر ندارد برای درک بهتر به فضای تصویر منتقل می‌شود.

در این مقاله برای ایجاد اهداف کاذب و جایگزینی آنها با هدف واقعی از دو محیط نرم‌افزاری CST و MATLAB استفاده می‌شود [۱۷]. به طوری که مطابق شکل (۲) شبیه‌سازی هدف در نرم افزار CST انجام می‌شود. این شبیه‌سازی معادل حرکت رادار در جهت سمت و داده‌برداری در جهت برد است. برای این منظور، ابتدا مدل سه بعدی هدف در نرم افزار CST تشکیل می‌شود. برای تشکیل این مدل هم می‌توان از اشکال موجود در این نرم‌افزار استفاده کرد و هم با استفاده از نرم افزارهای دیگری چون Auto CAD، 3D MAX و ... مدل ایجاد شده را به عنوان ورودی به CST وارد نمود. سپس با تشکیل موج ارسالی رادار SAR در CST، آن را به سمت هدف مورد نظر ارسال کرده و بازگشتی آن را در هر موقعیت از سمت، در گیرنده موجود در CST دریافت نمود. بدین ترتیب میدان پراکندگی هدف مورد نظر در محیط نرم‌افزاری CST استخراج شده و با انتقال دامنه و فاز آن به محیط MATLAB، ماتریس دو بعدی فضای سیگنالی مطابق شکل (۳) ایجاد می‌شود و در نهایت با اعمال الگوریتم تشکیل تصویر، تصویر نهایی SAR تشکیل می‌گردد. الگوریتم‌های مختلفی برای تشکیل تصویر استفاده می‌شوند که در این مقاله و برای حالت^۱ نورافکن^۲ از الگوریتم تشکیل تصویر^۳ PFA استفاده شده است. این فضا، ویژگی‌های اهداف را نمایش می‌دهد [۱۶-۱۳].

تا اینجا نحوه عملکرد سامانه‌های تصویربرداری راداری و چگونگی استفاده از شبیه‌ساز رادار SAR در دو محیط نرم‌افزاری MATLAB و CST بیان شد. در ادامه روش پیشنهادی این مقاله برای ایجاد اهداف کاذب به منظور فریب از منظر سامانه‌های تصویربرداری راداری بیان می‌شود.

۳- مدل‌سازی اهداف کاذب

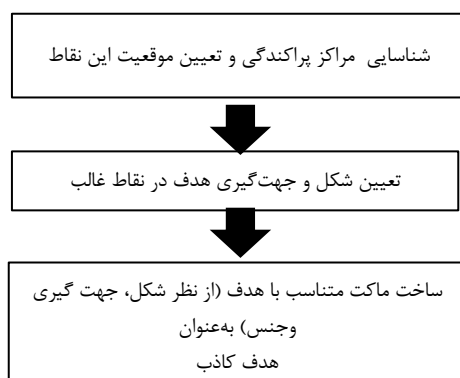
امواج الکترومغناطیسی هنگام برخورد با هدف میزانی از موج فرودی را جذب و مقداری را پراکنده می‌کنند. این موج پراکنده در رادار تک پایه، بخشی از موج پراکنده شده از هدف است که خواص هدف را با خود حمل می‌کند [۱] و [۲] ساختار هندسی یک رادار تک پایه تصویربرداری در شکل (۴) نشان داده شده است. پاسخ دریافتی از هدف به عوامل مختلفی از جمله: فرکانس و مشخصات رادار، زاویه تصویربرداری (زاویه برخورد و زاویه جاروب)، جنس هدف، شکل و ... وابسته است [۱۷].

در تصویربرداری با رادار، مشخصات رادار و فرکانس مشخص

¹ Mode

² Spotlight

³ Polar Format Algorithm(PFA)



شکل ۶. روش پیشنهادی این مقاله برای تشکیل مدل به‌عنوان هدف کاذب

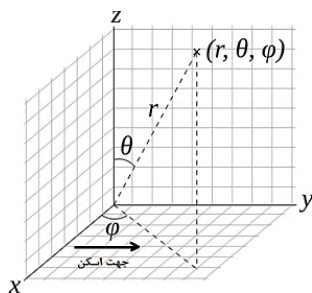
۴- نتایج و بحث

همانطور که در قسمت‌های قبل بیان شد میدان پراکندگی ناشی از هدف کاذب باید مشابه پاسخ هدف اصلی باشد. لذا در ادامه، هدف اصلی شبیه‌سازی شده و پاسخ ناشی از آن با پاسخ هدف کاذب پیشنهادی مقایسه می‌شود. برای این منظور از یک هدف گسترده واقعی در این مقاله استفاده شده است این هدف یک گلایدر با جنس PEC^1 است (مدل گلایدر به صورت پیش فرض در داخل نرم افزار CST وجود دارد). همچنین مشخصات رادار تصویربردار شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار CST در جدول (۲) آمده است.

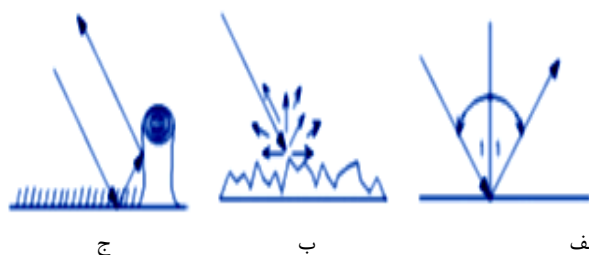
جدول ۲. مشخصات رادار SAR شبیه‌سازی شده

مقدار	مشخصات
$f_c = 10 \text{ GHz}$	فرکانس مرکزی
$R_r = 1 \text{ m}$	قدرت تفکیک در جهت برد
$R_a = 1 \text{ m}$	قدرت تفکیک در جهت سمت
$BW = c/2R_r$	پهنای باند
HH	قطبیدگی

مختصات تصویربرداری در شکل (۷) نشان داده شده است که متناسب با سیستم کروی، θ برابر زاویه فرود و φ برابر با زاویه جاروب است.



شکل ۷. مختصات تصویر برداری، θ زاویه فرود و φ تعیین کننده جهت جاروب



شکل ۵. ساختار شکل هدف در پراکندگی الف) سطح هموار با بازتاب آینه‌ای (ب) سطح ناهموار با بازتاب پراکنده (ج) بازتاب گوشه‌ای [۱۹]

پارامترهای هدف که در بالا نام برده شد، به فرکانس وابسته‌اند و یکتایی پاسخ هدف در فرکانس‌های مختلف باید در نظر گرفته شود. در ادامه با در نظر گرفتن مراکز پراکندگی، پارامتر ابعاد از فرکانس مستقل می‌شود؛ اما پارامتر شکل و جهت‌گیری هدف در فرکانس‌های مختلف متفاوت است که چون فرکانس، پارامتر رادار است برای هدف اصلی و هدف کاذب یکسان است.

همچنین پارامتر جنس به‌علت تغییرات خواص الکترومغناطیسی در فرکانس‌های مختلف به فرکانس وابسته است. استقلال این پارامتر نسبت به فرکانس برای ساخت هدف کاذب بسیار اهمیت دارد. با توجه به اینکه در رادارهای تصویربردار مثل SAR، فرکانس مرکزی مشخص است و محدوده فرکانسی حول فرکانس مرکزی نیز کوچک است، به همین علت تغییرات خواص الکترومغناطیسی وابسته به فرکانس کم است. در ادامه اثر این پارامتر نسبت به فرکانس بررسی شده است.

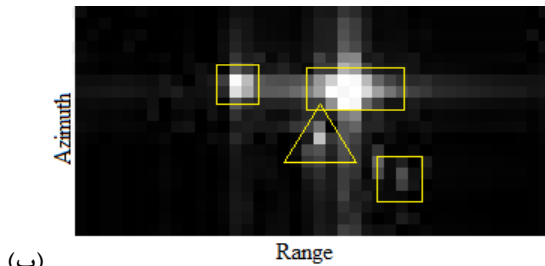
در اهداف گسترده برای شناسایی مراکز پراکنده کننده یا مراکز پراکندگی، از تصویر هدف در جهت‌های مختلف استفاده می‌شود. این نقاط بیشترین بازتاب‌ها را نسبت به همسایگی خود دارا می‌باشند [۹]. پس از استخراج و تعیین موقعیت مراکز مورد نظر، شکل و جهت‌گیری هدف در این مراکز حائز اهمیت است و در انتها می‌توان با ساخت ماکت هدف و کاشت آن بر روی زمین، از آن به‌عنوان هدف کاذب استفاده کرد.

این ماکت‌های جزء، سطح مقطع راداری نقاط غالب را ایجاد می‌کنند و در کل میدان پراکندگی هدف را به نمایش می‌گذارند. البته قابل ذکر است که ابعاد ماکت‌ها در اختیار کاربر بوده و می‌تواند کوچکتر نیز انتخاب شود زیرا ابعاد بزرگ‌تر ماکت، تنها شدت بازگشتی را افزایش می‌دهد. با توجه به توضیحات بالا، مراحل تشکیل مدل به‌عنوان هدف کاذب در بلوک دیاگرام پیشنهادی در شکل (۶) توضیح داده شده است.

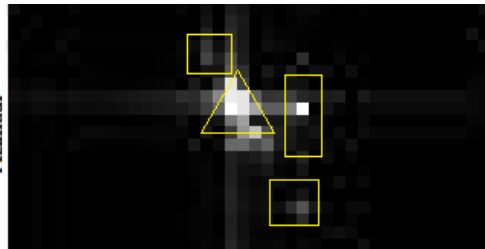
تا اینجا روش پیشنهادی این مقاله برای ایجاد اهداف کاذب بیان شد در ادامه تلاش می‌شود تا با انجام شبیه‌سازی مدل واقعی و هدف کاذب، فضای تصویری مدل واقعی و هدف کاذب مقایسه شوند.

¹ Perfect Electric Conductor(PEC)

در اینجا به عنوان مثال تصویر هدف در زاویه فرود ۹۰ و زوایای مختلف جاروب بیانگر مراکز پراکندگی می باشند. در ادامه در شکل (۸) فضای تصویری در این زوایا آمده است.

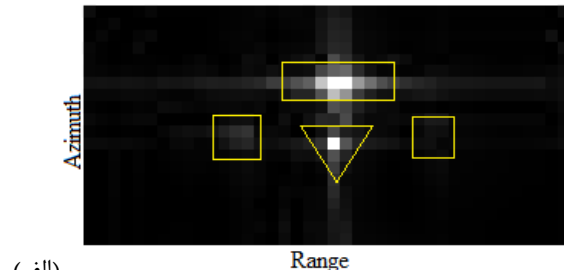


(ب)

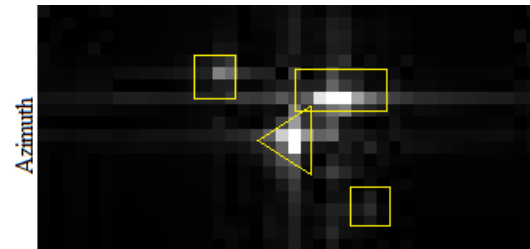


(د)

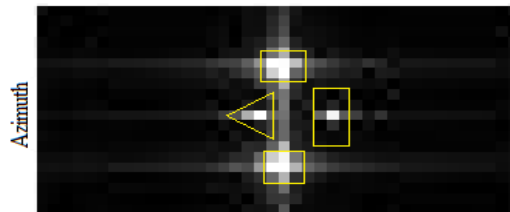
همانطور که در بلوک دیاگرام پیشنهادی این مقاله در شکل (۶) اشاره شد مرحله اول، شناسایی مراکز پراکندگی در هدف است. تصاویر هدف در زوایای مختلف، مراکز پراکندگی را نشان می‌دهند.



(ف)

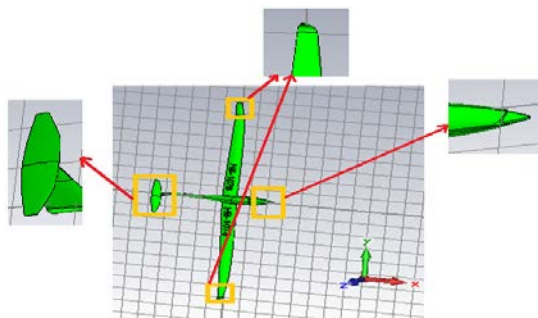


(ج)



(ه)

شکل ۸. فضای تصویری گلايدر با زاویه فرود $\theta = 90$ و در زوایای مختلف جاروب (الف) گلايدر در زاویه جاروب $\varphi = 90$ (ب) گلايدر در زاویه جاروب $\varphi = 60$ (ج) گلايدر در زاویه جاروب $\varphi = 45$ (د) گلايدر در زاویه جاروب $\varphi = 30$ (ه) گلايدر در زاویه جاروب $\varphi = 0$ می‌شود.



شکل ۹. استخراج مدل پراکندگی گلايدر

برای مقایسه اختلاف فضای تصویری گلايدر و هدف کاذب، معیار $RMSE^1$ در زوایای مختلف جاروب طبق فرمول زیر محاسبه شده است [۱]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}{n}} \quad (1)$$

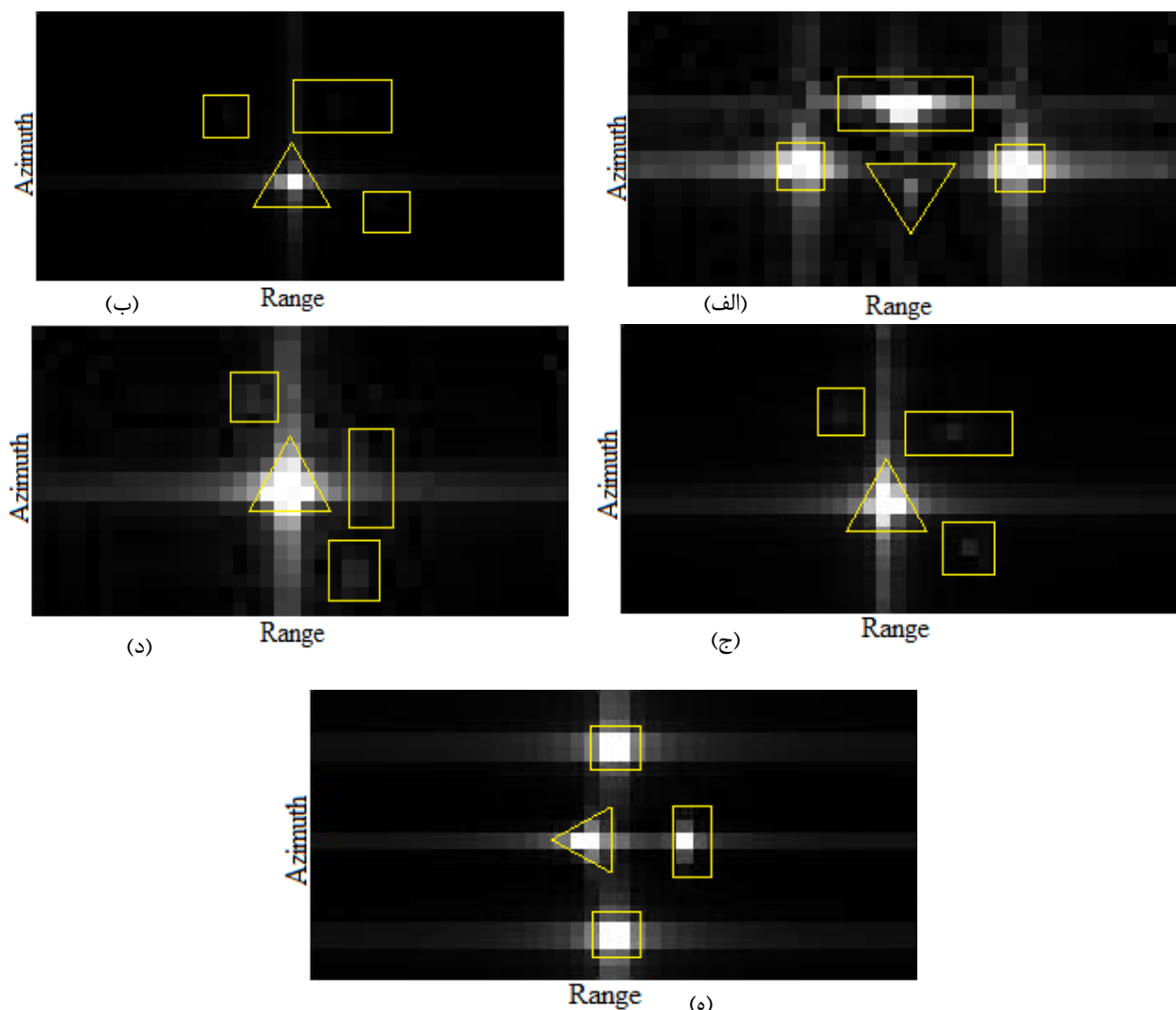
نتایج $RMSE$ برای فضای تصویری گلايدر و هدف کاذب برای زوایای مختلف جاروب در جدول شماره (۳) قرار دارد:

استخراج مراکز پراکندگی براساس بیشترین پراکندگی در همسایگی انجام می‌شود. لذا مطابق نتایج حاصل از شکل (۸) می‌توان گفت که در گلايدر، دماغه، بالها و بال انتهایی بیشترین پراکندگی را داشته‌اند. در شکل (۹) مراکز پراکنده کننده گلايدر نشان داده شده است.

پس از تعیین موقعیت، جهت گیری و شکل هدف در مراکز پراکنده کننده، این نقاط با شکل خود هدف شبیه‌سازی می‌شوند. در اینجا دماغه گلايدر، بالها و بال انتهایی بیشترین پراکندگی‌ها را دارا هستند. با شبیه‌سازی مراکز، فضای تصویری هدف کاذب بدست می‌آید. تا اینجا پارامترهای مختلف راداری، پارامترهای صحنه و پارامترهای هدف برای هدف کاذب در نظر گرفته شده است و اثر تغییر در شکل پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی برای هدف کاذب در زوایای مختلف در شکل (۱۰) آمده است. از نتایج شبیه‌سازی، طبق انتظار و همانطور که تصاویر ارائه شده در شکل‌های (۸) و (۱۰) نشان می‌دهند، تصویر گلايدر و هدف کاذب، بیشینه‌های یکسانی دارند، اختلاف‌های جزئی در شدت پیک و مکان پیک در برخی از موارد دیده

در این قسمت برای هدف واقعی (گلايدر) پارامترهای مختلف (پارامترهای راداری و پارامترهای هدف) در نظر گرفته شد. در ادامه پارامتر جنس به طور مستقل بررسی می شود.

طبق محاسبات موجود در جدول (۳)، کوچک بودن مقدار RMSE، نزدیک بودن نتایج گلايدر و هدف کاذب را نشان می دهد. در نتیجه می توان از مدل ارائه شده به عنوان هدف کاذب جایگزین هدف اصلی استفاده کرد.



شکل ۱۰. فضای تصویری هدف کاذب در زاویه فرود $\theta = 90^\circ$ و در زوایای مختلف جاروب الف) هدف کاذب در زاویه جاروب $\phi = 90^\circ$ ب) هدف کاذب در زاویه جاروب $\phi = 60^\circ$ ج) هدف کاذب در زاویه جاروب $\phi = 45^\circ$ د) هدف کاذب در زاویه جاروب $\phi = 30^\circ$ ه) هدف کاذب در زاویه جاروب $\phi = 0^\circ$

به فرکانس وابسته است. برای بررسی اثر این پارامتر از سه فرکانس و سه جنس متفاوت و پرکاربرد استفاده شده است، خواص الکترومغناطیسی این جنس ها در جدول (۴) آمده است. جنس های مورد استفاده شیشه با اتلاف، آهن و هادی کامل است و فرکانس ها، ۱۰، ۵ و ۳ گیگا هرتز می باشند. شبیه سازی جنس برای شکل و زاویه فرود و زاویه جاروب ثابت در نظر گرفته شده است. شکل و موقعیت انتخابی، مکعب در زاویه فرود $\theta = 45^\circ$ و زاویه جاروب $\phi = 90^\circ$ است. نمایه^۱ برد و سمت برای جنس های هادی کامل، آهن، شیشه با اتلاف در فرکانس های مختلف به ترتیب در شکل های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) آمده است.

جدول ۳. RMSE برای فضای تصویری گلايدر و هدف کاذب

زاویه جاروب	RMSE
$\phi = 0^\circ$	۰/۰۰۸
$\phi = 30^\circ$	۰/۰۹۱
$\phi = 45^\circ$	۰/۰۷۳
$\phi = 60^\circ$	۰/۱۱
$\phi = 90^\circ$	۰/۰۹۸

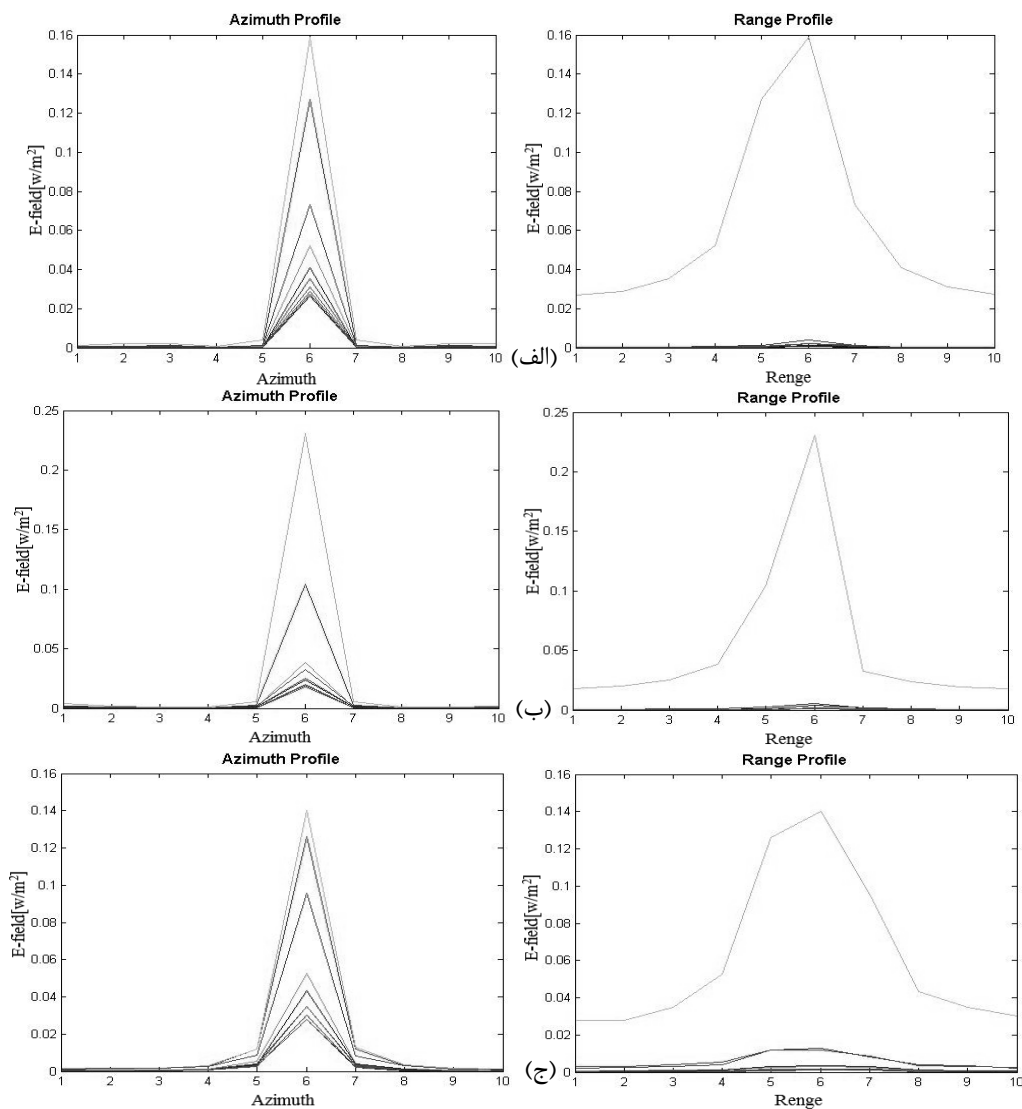
۴-۱- بررسی اثر جنس

پارامتر دیگری که باید مورد بررسی قرار گیرد، پارامتر جنس است این پارامتر به علت تغییرات خواص در فرکانس های مختلف

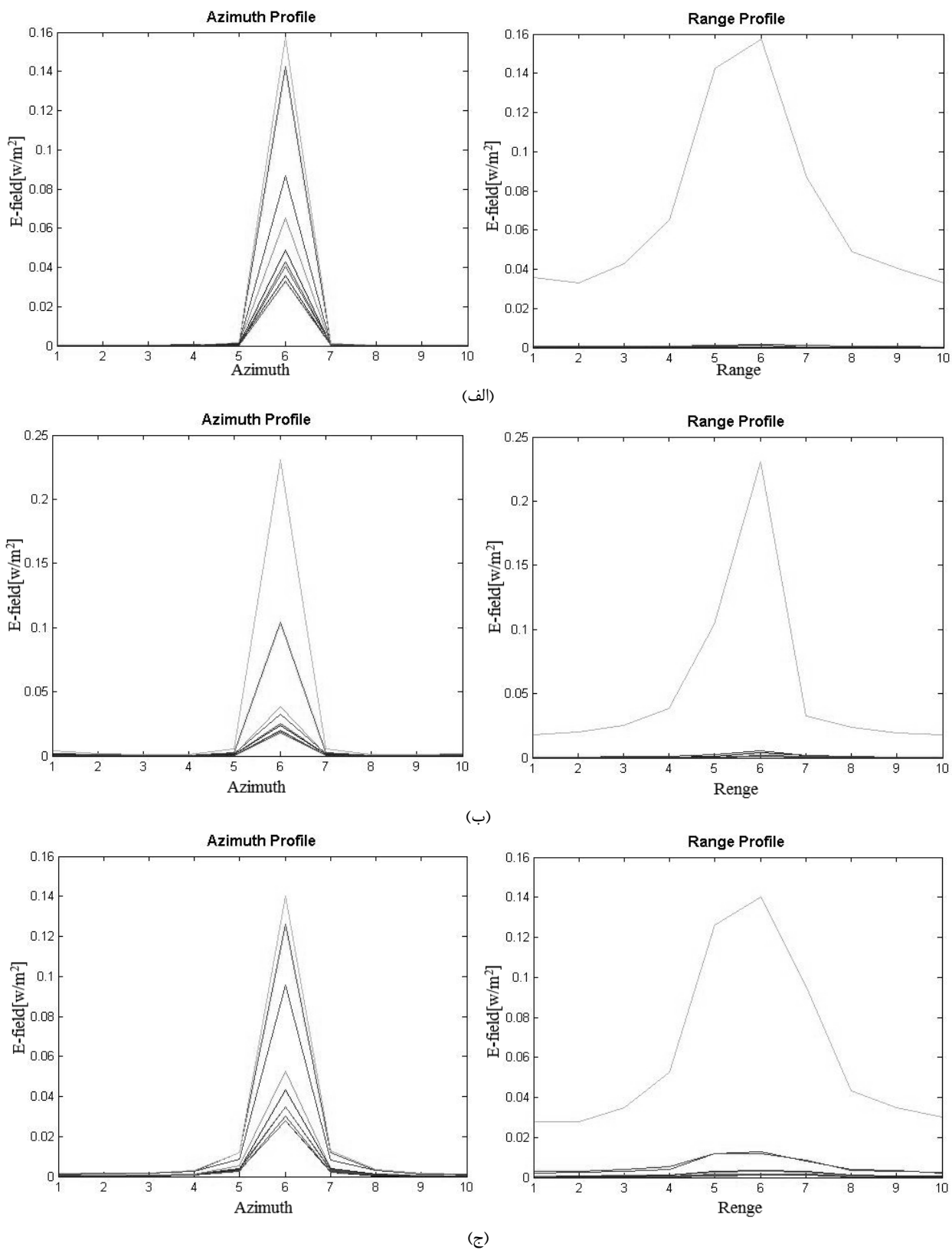
^۱ Root Mean Square Error (RMSE)

جدول ۴. خواص الکترومغناطیسی جنس های مورد استفاده در فرکانس های مختلف

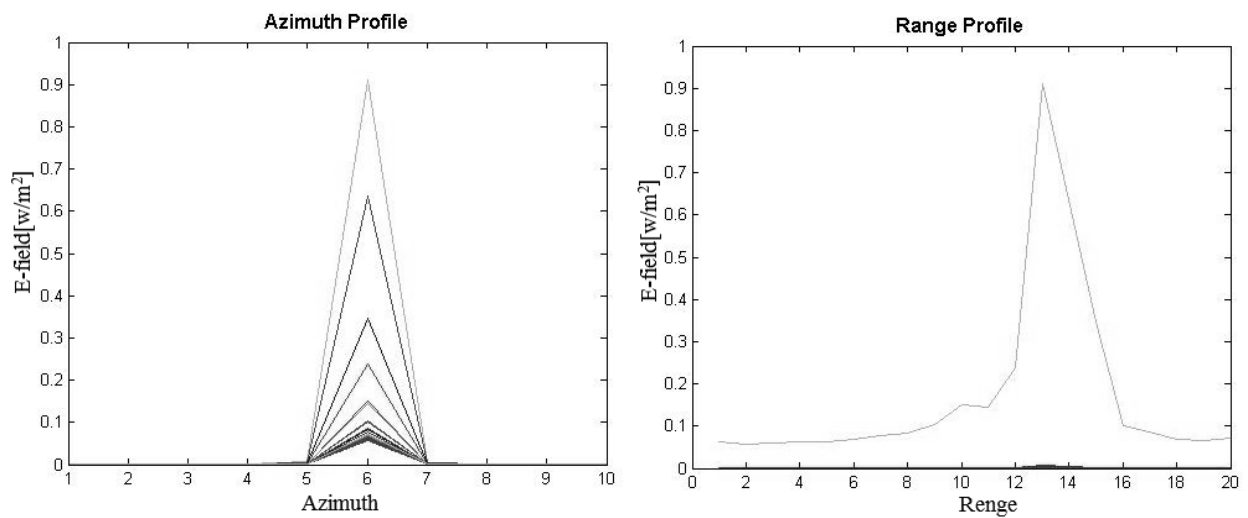
ماده	فرکانس [GHz]	رسانندگی	هدایت الکتریکی [s/m]
هادی کامل	۳	-	∞
	۵	-	∞
	۱۰	-	∞
آهن	۳	-	$1/0.4 \times 10^7$
	۵	-	$1/0.4 \times 10^7$
	۱۰	-	$1/0.4 \times 10^7$
شیشه با اتلاف	۳	$4/7941 - i1/725888 \times 10^{-5}$	-
	۵	$4/7941 - i1/0.355 \times 10^{-5}$	-
	۱۰	$4/7941 - i5/17764 \times 10^{-6}$	-



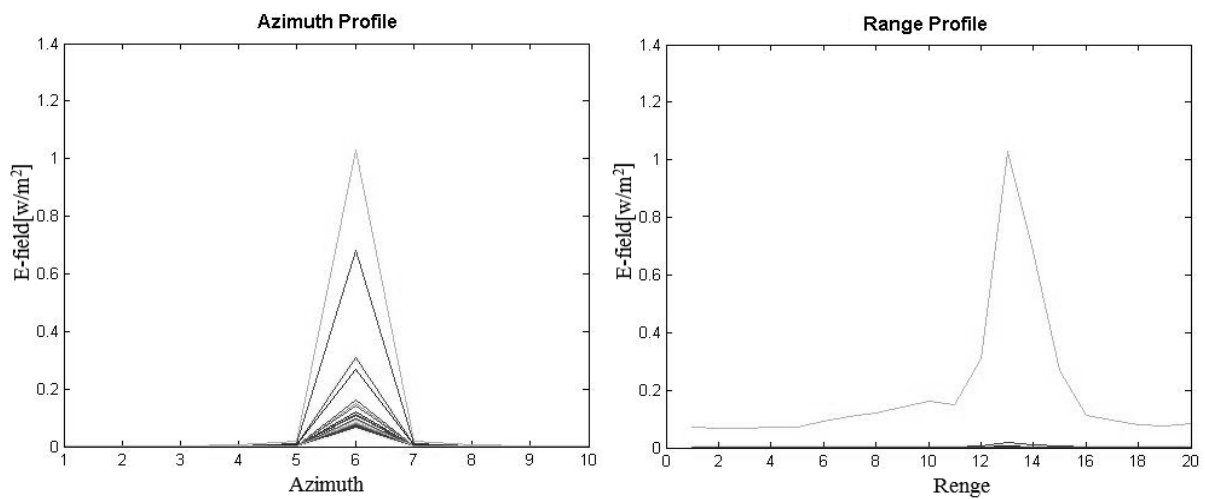
شکل ۱. نمایه برد و سمت برای جنس هادی کامل در فرکانس های (الف) ۳ GHz (ب) ۵ GHz (ج) ۱۰ GHz



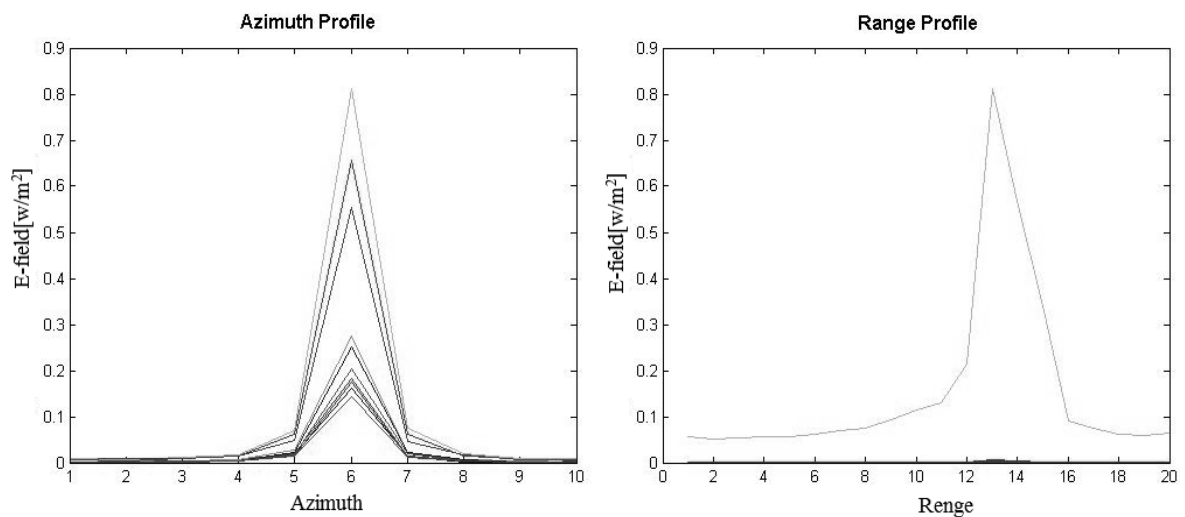
شکل ۲. نمایه برد و سمت برای جنس آهن در فرکانس‌های (الف) ۳ GHz (ب) ۵ GHz (ج) ۱۰ GHz



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۳. نمایه برد و سمت برای جنس شیشه با اتلاف در فرکانس‌های (الف) ۳ GHz (ب) ۵ GHz (ج) ۱۰ GHz

توسط رادار را می‌توان بدین صورت بیان کرد: الگوی رفتاری هدف در تصویر، حاصل از شکل هدف در جهت و موقعیت مراکز پراکنده‌گی است. در نتیجه مهم‌ترین پارامتر شکل هدف است و نقاط پراکنده کننده هدف اهمیت پیدا می‌کنند. پارامتر جنس تاثیر اندکی بر الگوی هدف دارد و بیشترین تاثیر این پارامتر بر دامنه بازگشتی است. در نتیجه در شناسایی هدف توسط رادار کم اهمیت محسوب می‌شود. پارامترهای دیگر مانند اثر رادار، اثر کانال و ... مستقل‌اند و برای همه اهداف ثابت است در نتیجه اثر این پارامترها در شناسایی اهداف مطرح ناست. در نتیجه، ساخت مراکز پراکنده کننده هدف با شکل خود هدف و کاشت آنها بر روی زمین به عنوان فریب در سامانه راداری قابل استفاده است. همچنین برای پوشش هر دو حوزه نوری و راداری می‌توان اهداف کاذب قابل دید با چشم را با در نظر گرفتن مراکز پراکنده کننده و قابل دید برای رادار درست نمود و هر دو حوزه را پوشش داد.

۶- مراجع ها

- [1] Cumming, I. G.; Wong, F. H. "Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data"; Artech House: London. 2005.
- [2] Richards, J. A. "Remote Sensing with Imaging Radar"; Springer, New York, NY. 2009.
- [3] Paul, V. "Strategy of Deception"; XLAT. Chris Turner: New York. Verso. 2000.
- [4] Chen, Z. Y.; Wang, T.; Ma, N. "Simple and Robust Baseline Estimation Method for Multichannel SAR-GMTI Systems"; Int. J. Electron. 2015, 1127-1137.
- [5] Da, R.; Xin, J.; Canbin, Y.; Guochao, L.; Yang, G. "Synthetic Aperture Radar Operation Mode Recognition Based on Time-Frequency Analysis"; IET Int. Radar Conf. 2015, 1-4.
- [6] Mrdakovic, B. L.; Pavlovic, M. S.; Olcan, D. I.; Kolundzija, B. M. "Full-Wave Scattering Analysis of Electrically Large Objects in Wide-Band Synthetic Aperture Radar Systems"; 10th European Conf. Antennas and Propagation, 2016, 1-4.
- [7] Jakowatz, C. V.; Whal, D. E.; Eichel, P. H.; Ghiglia, D. C.; Thompson, P. A. "Spotlight-Mode Synthetic Aperture Radar: A Signal Processing Approach"; Kluwer Academic Publishers, London, 1996.
- [8] Wang, B. Z.; Guan, Hu, W.; Liu, Q.; Guo, J. "Study on the Echo Signal Model and R-D Imaging Algorithm for FMCW SAR"; IET Int. Radar Conf. 2015, 1-6.
- [9] Fallahpour, M. B.; Dehghani, H. A.; Rashidi, J.; Sheikhi, A. "Extraction of Point Target Model of Distributed Targets Using SAR Images"; Adv. Defence Sci. & Technol. 2017, 10, 265-274 (In Persian).
- [10] Jakson, J. A.; Moses, R. L. "Feature Extraction Algorithm for 3D Scene Modeling and Visualization Using Monostatic SAR"; Proc. of SPIE. 2006, 6237, 2-80.
- [11] Moses, R. L.; Potter, L. C.; Cetin, M. "Wide-angle SAR imaging"; Proc. SPIE. Int. Society for Optical Eng. 2004. 5427,164-175.
- [12] Melvin, W. L.; Scheer, J. A. "Principles of Modern Radar"; Sci. Tech. Publishing, 2013.

در رادارهای SAR، فرکانس مرکزی مشخص است و محدوده فرکانسی حول فرکانس مرکزی نیز کوچک است، به همین علت تغییرات خواص الکترومغناطیسی وابسته به فرکانس کم است. همبستگی میان جنس‌های مختلف در هر فرکانس در جدول (۵) آمده است. همانطور که جدول نشان می‌دهد همبستگی میان سه جنس کاملاً متفاوت به یک نزدیک است. این میزان همبستگی نشان می‌دهد که نتایج در جنس‌های مختلف فقط در یک ضریب متفاوت هستند. در نتیجه می‌توان این پارامتر را مستقل از فرکانس فرض کرد.

جدول ۱. همبستگی جنس‌های آهن و شیشه با اتلاف با هادی کامل در فرکانس‌های مختلف

ماده	فرکانس [GHz]	ضریب همبستگی
آهن و هادی کامل	۳	۰/۹۹۴۴
	۵	۰/۸۹۲۸
	۱۰	۰/۹۹۳۶ ۰/۹۹۳۶
شیشه و هادی کامل	۳	۰/۹۹۵۱ ۰/۹۹۵۱
	۵	۰/۹۹۸۳ ۰/۹۹۸۳
	۱۰	۰/۹۹۶۷ ۰/۹۹۶۷

با توجه به اینکه الگوریتم‌های شناسایی براساس الگوها و ویژگی‌های هدف در نظر گرفته می‌شوند و دامنه برای شناسایی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد می‌توان در هدف کاذب از جنس هدف صرف نظر کرد. البته این معیار مطرح است که پراکنده‌گی باید قابل توجه باشد. در این صورت می‌توان سازه‌ای طراحی کرد که سطح مقطع راداری هدف اصلی را ایجاد کند و به عنوان فریب در مقاصد پدافند غیر عامل استفاده شود. به‌عنوان مثال، گلایدر بالا به صورت فیزیکی با مراکز پراکنده کننده هدف ساخته شود.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر تصویر هدف، روشی برای ایجاد هدف کاذب به عنوان فریب برای مقاصد پدافند غیر عامل ارائه شد. در این مدل، هدف کاذب با مراکز پراکنده‌ساز خود هدف ساخته می‌شود و نتایج نزدیک به هدف را دارا است. پارامتر جنس به علت تغییرات خواص در فرکانس‌های مختلف به فرکانس وابسته است. برای بررسی اثر این پارامتر از سه فرکانس و سه جنس متفاوت و پرکاربرد استفاده شد. جنس‌های مورد استفاده شیشه با اتلاف، آهن و هادی کامل در فرکانس‌های ۱۰، ۵ و ۳ گیگاهرتز بودند. با توجه به نتایج ضریب همبستگی در جنس‌های مختلف، نشان داده شد که می‌توان این پارامتر را مستقل از فرکانس فرض کرد. در نتیجه با توجه به نتایج بدست آمده در این مقاله، نقش و اهمیت پارامترها در شناسایی هدف

- [17] Fallahpour, M. B.; Dehghani, H.; Rashidi, A. J.; Sheikhi, A. "Analytical Modelling and Software Implementation of Synthetic Aperture Radars"; *Int. J. Electron.* 2017, 104, 11, 1795-1809.
- [18] West, R. D. "Model-Based Strip Map Synthetic Aperture Radar Processing"; Ph. D. Theses, Utah State University, Logan, Utah, 962, 2011.
- [19] Lopez, J. P. A. "Assessment and Modeling of Angular Backscattering Variation in ALOS Scan SAR Image over Tropical Forest Areas"; M. SC. Thesis, Geo-inf. Sci. and Earth Observation, Netherlands. 2008.
- [13] Lord, R. T.; Inggs, M. R. "High-Resolution SAR Processing Using Stepped Frequencies"; *Proc. IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Symp.*, Singapore, 1997, 490-492.
- [14] Levanon, N. "Stepped-Frequency Pulse-Train Radar Signal"; *IEEE P-Radar. Son.* 2002, 149, 297-309.
- [15] Rabideau, D. J. "Nonlinear Synthetic Wideband Waveforms"; *Proc. IEEE Radar Conf. USA*, 2002, 149, 212-219.
- [16] Li, H. B.; Zhang, Y. H.; Wu, J. "Sidelobes and Grating Lobes Reduction of Stepped-Frequency Chirp Signal"; *Int. Symp. Microwave Antenna Propagation and EMC. Tech. Wireless Commun.* Beijing, 2005, 2, 1210-1213.

